

## РУДНИЧКИ ДРЕНАЖИ И ПОСТАПКИ ЗА НИВНО ТРЕТИРАЊЕ

Мирјана Голомеова, Афродита Зенделска, Борис Крстев, Благој Голомеов, Александар Крстев

*Универзитет Гоце Делчев – Штип, Факултет за природни и технички науки – Штип*

*Ул. Гоце Делчев бр. 89, Штип, Р. Македонија*

[mirjana.golomeova@ugd.edu.mk](mailto:mirjana.golomeova@ugd.edu.mk), [afrodita.zendelska@ugd.edu.mk](mailto:afrodita.zendelska@ugd.edu.mk), [boris.krstev@ugd.edu.mk](mailto:boris.krstev@ugd.edu.mk),

[blagoj.golomeov@ugd.edu.mk](mailto:blagoj.golomeov@ugd.edu.mk), [aleksanda.krstev@ugd.edu.mk](mailto:aleksanda.krstev@ugd.edu.mk)

### Абстракт

Водите чие протекување е условено од рудниците со подземна експлоатација и површинските копови и содржат високи концентрации на растворени метали се наречени руднички дренажи. Рудничките дренажи според нивната алкалност и киселост може да се класифицираат во неколку основни типови. Киселите дренажи се јавуваат онаму каде што има карпест материјал богат со сулфидни, а сиромашен со карбонатни минерали, додека алкални услови на водите се создаваат од карпести материјали богати со алкалии и покрај значајните концентрации на сулфиди.

Рудничките дренажи се опасни бидејќи полутантите кои ги има во нив не се распаѓаат во медиумите на животната средина. Под одредени услови металите може да се концентрираат во животната средина, а под други може да се диспергираат.

Третманот на рудничките дренажи може да биде базиран на две технологии т.е. технологии за активен третман и технологии за пасивен третман. Кај активниот третман се користи алкални хемикалии за неутрализирање на киселата загадена вода. Овој третман е скап во поглед на хемикалиите, изградбата и одржувањето на постројката. Кај пасивниот третман се применуваат природни хемиски и биолошки реакции за третирање на рудничка дренажа и бара низок степен на одржување.

Во трудот се опишани постапки за третирање на руднички дренажи.

Клучни зборови: руднички дренажи, тешки метали, пасивен третман, активен третман

## MINE DRAINAGE TREATMENT

Mirjana Golomeova, Afrodita Zendelska, Boris Krstev, Blagoj Golomeov, Aleksandar Krstev

*University "Goce Delchev" - Stip, Faculty of Natural and Technical Sciences - Stip*

*address: Goce Delchev No. 89, Stip, Republic of Macedonia*

[mirjana.golomeova@ugd.edu.mk](mailto:mirjana.golomeova@ugd.edu.mk), [afrodita.zendelska@ugd.edu.mk](mailto:afrodita.zendelska@ugd.edu.mk), [boris.krstev@ugd.edu.mk](mailto:boris.krstev@ugd.edu.mk),

[blagoj.golomeov@ugd.edu.mk](mailto:blagoj.golomeov@ugd.edu.mk), [aleksanda.krstev@ugd.edu.mk](mailto:aleksanda.krstev@ugd.edu.mk)

### Abstract

Water flowing from underground and surface mines and contains high concentrations of dissolved metals is called mine drainage. Mine drainage can be categorized into several basic types by their alkalinity or acidity. Sulfide rich and carbonate poor materials are expected to produce acidic drainage, and alkaline rich materials, even with significant sulfide concentrations, often produce net alkaline water.

Mine drainages are dangerous because pollutants may decompose in the environment. In certain conditions metals can be concentrated in environmental, and by others can be dispersed.

Two methods can treat mine drainage to eliminate or reduce contamination by acidity and heavy metals. The active treatment method uses alkaline chemicals to neutralize acid-polluted water. However, the chemicals are expensive and the treatment facility is expensive to construct and operate. The passive treatment method uses a treatment system that employs naturally occurring chemical and biological reactions to treat mine drainage with little maintenance.

In this paper mine drainage treatments are presented.

Key words: mine drainage, heavy metals, passive treatment, active treatment

## Вовед

Рудничката дренажа претставува вода со зголемена концентрација на метали која се формира како резултат на хемиска реакција помеѓу водата и карпите носители на минерали кои во својот состав содржат сулфур.

Рудничката дренажа, која најчесто е кисела, доаѓа од области каде што постојат или постоеле рударски активности или пак од карпести области богати со пирит ( $\text{FeS}_2$ ). Како резултат на реакцијата помеѓу пиритот, водата и воздухот се добива сулфурна киселина и растворено железо. Ова железо, целосно или делумно, може да се исталожи и да формира црвени, портокалови или жолти седименти на дното од дренажните текови.

Киселата дренажа дополнително ги раствора тешките метали како што се: бакар, олово, цинк, жива, во подземните или површинските води.

Според Skousen and Ziemkiewicz рудничките дренажи може да се класифицираат во неколку основни типови според нивната алкалност и киселост:

- Тип 1 - Руднички дренажи со слаба или без алкалност,  $\text{pH} < 4,5$ , содржат високи концентрации на Fe, Al, Mn и други метали, киселост и кислород. Наречени се “кисели руднички дренажи” (Acid Mine Drainage - AMD). Во овој тип спаѓаат и водите со  $\text{pH} < 6,0$  и содржина на нето киселост (киселоста е поголема од алкалноста);
- Тип 2 - Руднички дренажи со високи концентрации на вкупно растворени цврсти честички, со високи содржини на феро железо ( $\text{Fe}^{2+}$ ) и Mn, без или со ниска содржина на кислород и  $\text{pH} > 6,0$ . После оксидацијата, вредноста на pH потенцијалот на овие води значително опаѓа и преминуваат во кисели руднички дренажи од Тип 1;
- Тип 3 – Алкални руднички дренажи кои имаат средни до високи концентрации на вкупно растворени цврсти честички, содржината на феро железо ( $\text{Fe}^{2+}$ ) и Mn е ниска до средна, без или со ниска содржина на кислород,  $\text{pH} > 6,0$  и алкалноста е повисока од киселоста. После оксидацијата, генерираната киселина се неутрализира од веќе присутната алкалност во водата.
- Тип 4 – Неутрализиран кисели руднички дренажи со  $\text{pH} > 6,0$  и високи концентрации на вкупно суспендирани цврсти честички. Таложето на металните хидроксиди во водата сеуште не е отпочнато. После одредено време на престој во таложникот, честичките се исталожуваат и се формираат води од Тип 5;
- Тип 5 – Неутрализиран кисели руднички дренажи со  $\text{pH} > 6,0$  и високи концентрации на вкупно растворени цврсти честички. Откако повеќето метални хидроксиди ќе преципитираат во таложникот, главни катјони кои што остануваат во водата со високи концентрации вообичаено се растворени Ca и Mg. Растворените окси-анјони како што се бикарбонатите и сулфатите исто така остануваат во растворот. Доколку алкалноста или кислородот недостасуваат во процесот на неутрализација, водата нема да го достигне Типот 5;
- Инертни или неутрални води се појавуваат кај рудниците со минорни содржини на сулфиди и ниски до средни количини на карбонати. Вообичаено имаат неутрална вредност на pH потенцијалот, ниска специфична спроводливост ( $<100 \text{ uS/mm}$ ), а киселоста и алкалноста се речиси во рамнотежа.

Со мешање на наведените различни типови на води се образуваат преодни типови на води, а одредувањето на формиранiot тип е со адекватно земање на примероци и анализа на pH вредноста, состојбата со кислородот и концентрацијата на металите и интензитетот на киселоста.

Комплексот на елементи во рудничката дренажа предизвикува различни ефекти на водениот свет. Вкупниот ефект зависи од концентрацијата на растворените метали, вкупната киселост, pH и количината на дренажата, како и од протокот, pH и алкалноста или пуферскиот капацитет на приемиот поток. Повисоката концентрација на бикарбонатни и карбонатни јони во приемиот поток и повисокиот пуферски капацитет овозможуваат поголема заштита на водениот свет од штетните влијанија на киселите руднички дренажи (Kimmel, 1983).

Алкалните руднички дренажи со ниска концентрација на метали имаат слабо забележителен ефект врз приемните текови, додека киселите руднички дренажи со зголемена концентрација на метали кои што се испуштаат во изворните текови или слабо пуферските текови може да имаат уништувачки ефект врз водениот свет.

Секундарните ефекти како што се зголемен јаглероден диоксид, намален кислород од оксидацијата на металите, зголемен осмозен притисок со висока концентрација на минерални соли и синергетски ефект на метални јони исто така допринесуваат за токсичноста. (Parsons, 1957). Покрај хемиските ефекти од рудничката дренажа, се јавуваат и физички ефекти како што се: зголемување на заматеноста како резултат на ерозија на почвата, акумулација на јагленова прашина и загушување на подлогата на потокот од наталожувањето на металните соединенија. (Parsons, 1968).

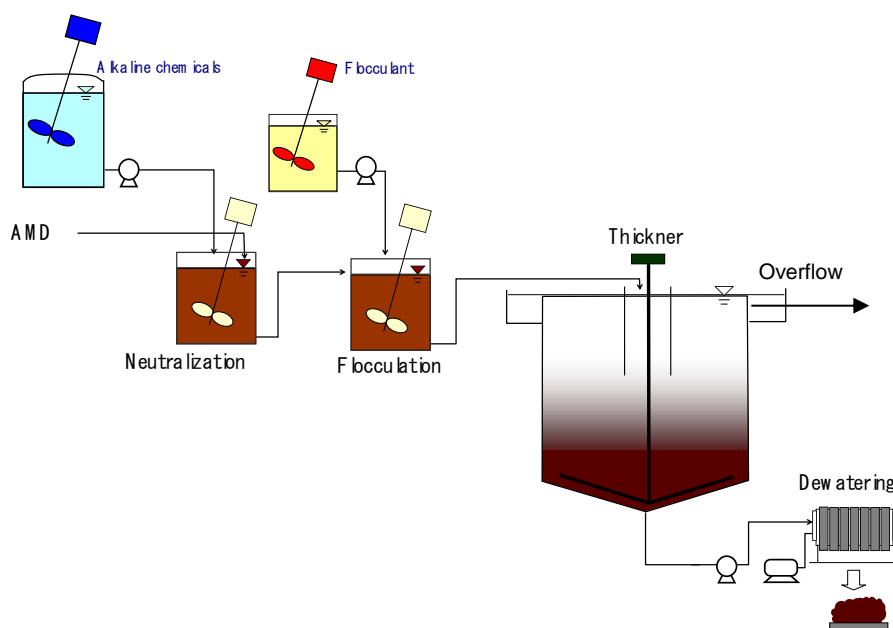
### Технологии за третман на руднички дренажи

Третманот на рудничките дренажи може биде базиран на две основни технологии т.е. технологии за активен третман и технологии за пасивен третман. Основната разлика помеѓу овие технологии е тоа што системите за активен третман (како што кажува и самото име) бараат константно одржување на системот, додека системите за пасивен третман бараат понизок степен на одржување (или воопшто не се одржуваат).

#### - Технологии за активен третман

Активниот третман е најраспространетиот метод за третирање на кисели руднички дренажи, кој вклучува додавање на хемикалии – неутрализирачки агенси (Coulton et al., 2003).

Типичниот активен третман вклучува оксидација на киселата рудничка дренажа, неутрализација (додавање на алкалии) и седиментација (додавање на коагуланти и флокуланти). Оксидацијата е важна бидејќи со неа се внесува кислород во дренажата, кој е неопходен за таложување на металите при ниска рН вредност. Неутрализацијата ја зголемува рН вредноста на киселата дренажа со што металите може да се исталожат од растворот како хидроксиди или карбонати, а со додавањето на флокулантите се формира густа тиња која побрзо се таложи во таложникот. Големата густина на тињата е поволна бидејќи се намалуваат трошоците поврзани со нејзиното одлагање и складирање поради намалениот обем (Coulton et al., 2003).



Сл. 1. Шема на активен третман  
Fig. 1. Scheme of active treatment

#### - Аерација / Оксидација

Аерацијата е процес на воведување на воздух во водата. Оксидацијата се јавува кога кислородот од воздухот реагира со металите во водата. Доколку водата е оксидирана, металите главно ќе преципитираат при пониски рН вредности. Сепак, само околу 10 mg/l O<sub>2</sub> може да се растворот во водата, така што се ограничени оксидационите ефекти на водата која што не е директно изложена на воздух. Поради оваа причина, аерацијата на водата може да ја помага оксидацијата во многу системи за третман на водите. Доколку аерацијата и оксидацијата се вклучени или усовршени во системите за третман на водите, ефикасноста на хемискиот третман би се зголемила, а трошоците би се намалиле.

#### - Неутрализација

За да се постигне неутрализација на киселоста и зголемување на рН на водата, до ниво каде што растворените метали во водата ќе образуваат нерастворливи метални хидроксиди и ќе преципитираат од водата потребно е додавање на доволно алкалност.

Најчесто користени неутрализатори за третман на киселите руднички дренажи се прикажани во Табела 1. Секоја хемикалија има одредени карактеристики кои ја прават повеќе или помалку соодветна за одредена ситуација.

Таб. 1. Хемикалии за оксидација, неутрализација и коагулација/флокулација

Tab. 1. Chemicals for oxidation, neutralization and coagulation/flocculation

Назив	Хемиска формула	Забелешки
<b>Оксиданти</b>		
Калциум хипохлорит	Ca(ClO) <sub>2</sub>	Јак оксидант
Натриум хипохлорит	NaClO	Исто е јак оксидант
Калциум пероксид	CaO <sub>2</sub>	Трапзен, неутрализатор на киселоста
Водороден пероксид	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Јак оксидант
Калиум перманганат	KMnO <sub>4</sub>	Многу ефикасен, општо употребуван
<b>Неутрализатори на киселоста</b>		
Варовник (калциум карбонат) Варовнички канали	CaCO <sub>3</sub>	Се користат кај безкислородните варовнички дренажи и кај отворените варовнички канали.
Хидратна вар (гасена вар) Вар	Ca(OH) <sub>2</sub>	Рентабилен реагенс, но потребно е мешање.
Негасена вар (Калциум оксид) Валутоти од негасена вар	CaO	Многу реактивен, потребна мерна опрема.
Натриум карбонат Натриумова сол- брикети	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Систем за оддалечени локации, но е скап.
Натриум хидроксид Каустична сода	NaOH	Многу растврлива, може да биде во цврста и течна форма. Поефтина е во течна форма.
Амонијак	NH <sub>3</sub> или NH <sub>4</sub> OH	Многу реактивен и растворлив.
Летечка пепел	CaCO <sub>3</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub>	Вредноста на неутрализацијата варира со секој производ.
<b>Коагуланти/Флокуланти</b>		
Алуминиум сулфат	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Кисела материја, формира Al(OH) <sub>3</sub> .
Феро сулфат	FeSO <sub>4</sub>	Кисела материја, обично побавно реактивна во однос на алуминиум сулфат.
Фери сулфат	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Фери продуктите реагираат побрзо отколку феро продуктите.
Натриум алуминат	NaAlO <sub>2</sub>	Алкален коагулант.

(извор: Skousen et al., 1998)

#### - Флокуланти / коагуланти

Коагулантите и флокулантите се користат за зголемувањена ефикасноста на таложење на цврстите честички. Овие материјали обично се користат во ситуации кога соединенијата на металот бараат специјализиран систем за третман, или пак онаму каде што аерацијата и времето на престој во таложниците се недоволни за комплетна преципитација на металот. Коагулантите ги намалуваат нето електричните одбивни сили на површината на честичките, промовирајќи ја консолидацијата на малите честички во поголеми честички. Флокулацијата ги агрегира или комбинира честичките со премостување на просторот помеѓу честичките со хемикалии. Премостувањето се јавува кога сегменти од ланецот на полимери ги апсорбираат суспендираните честички, формирајќи поголеми честички.

#### - Технологии за пасивен третман

Моделирањето на пасивните системи е засновано според природните мочуришта и други природни процеси, применувајќи соодветна промена за да се исполнат специфичните цели на третманот.

Концептот на пасивниот третман ги користи предностите на природно настанатите хемиски и биолошки процеси за пречистување на рудничките води и овозможува реакциите за третирање да се извршуваат на контролирано место во системот за третирање, а не кај приемот на водата.

Основните пасивни технологии се поделени на: конструирани мочуришта (аеробни и анаеробни), системи со вертикален проток (системи за производство на сукцесивна алкалност и системи за редуцирање и производство на алкалност), безкислородни варовнички дренажи, варовнички базени и отворени варовнички канали.

##### - Конструирани мочуришта

Начинот на кој што се конструирани мочуриштата влијае на начинот на третман на водата. Доминираат два вида на конструкција: 1) “аеробни” мочуришта кои што содржат Турфа (барски трски) и друга мочуришна вегетација засадена во плитките (<30cm), релативно непропустливи седименти кои што опфаќаат почви, глини или рудничка јаловина, и 2) “анаеробни” мочуришта кои што содржат Турфа (барски трски) и друга мочуришна вегетација засадена во длабоките (>30cm), порозни седименти кои што опфаќаат почви, тресет, компост во кој што имало печурки, дрвени струготини, слама, ѓубриво, сено или други органски смеси, над подлога или измешани со варовникот.

Аеробните мочуришта се ограничени по однос на типовите на води кои што може ефикасно да ги третираат и се користат за третман на средно кисели или нето алкални води кои содржат зголемени концентрации на Fe. Примарната функција на овие системи е да се овозможи аерација на рудничките води кои течат низ вегетацијата, оксидација на раствореното железо и да обезбедат време за задржување, каде што водата се забавува за да преципитираат железните оксиди. Бидејќи преципитацијата на Fe генерира  $H^+$ , водата која што излегува од аеробните мочуришта може да има пониска pH отколку водата што влегува во мочуриштата, дури и ако концентрациите на Fe се помали.

Модификацијата на дизајнот на аеробните мочуришта им овозможува на анаеробните мочуришта дополнителна алкалност, со цел ефикасен третман на нето киселите води и значителна преципитација на растворените метали. Ова вклучува додавање на подлога од варовник и органска материја која го поттикнува генерирањето на алкалноста како бикарбонат ( $HCO_3^-$ ). Редукцијата на сулфатите е микробиолошки процес кој се јавува во безкислородни услови, кога се присутни сулфати и биоразградливи организми. Сулфато-редуцирачките бактерии го користат кислородот кој навлегол во безкислородната околина како компонента на сулфатот ( $SO_4^{2-}$ ) за метаболичките процеси на биоразградливите организми, го трансформираат сулфурот или до гасна фаза ( $H_2S$ ) или до сулфид во цврста фаза.



Сл. 2. Шематски дијаграми на системите за пасивен третман

Fig. 2. Schematic diagrams of passive treatment system

Анаеробните мочуришта се во состојба да ги отстранат металите кои што се растворливи во киселина (посебно Fe и Al), како и да генерираат алкалност. Нивната ефикасност е ограничена од бавното мешање на водите од алкалниот супстрат со киселите води близу површината. За овие системи често пати е потребна голема површина и долго време на задржување. Како и кај другите системи за пасивен третман нивната ефикасност за отстранувањето на Mn е ограничена, освен во случај кога се користат големи површини.

#### - Безкислородни варовнички дренажи

Безкислородните варовнички дренажи претставуваат потрупани ровови исполнети со варовник, конструирани да се спречи контактот на рудничките дренажи со атмосферскиот кислород. На тој начин е оневозможена оксидацијата на металите и образувањето на варовнички наслаги. Варовникот се раствора под влијание на рудничките води, со што генерира бикарбонатна алкалност.

Безкислородните варовнички дренажи се покриени со глина или збиени почви и PVC за да се заштитат од контакт со кислородот. PVC мембраната најчесто се поставува над варовникот за да го ограничи пристапот на кислородот и аерираната вода. Целта на долниот дел на безкислородните варовнички дренажи е да обезбеди алкалитет и на тој начин киселата вода да ја трансформира во алкална. Задржувајќи го јаглеродниот диоксид во дренажите се подобрува растворливоста на варовникот и образувањето на алкалност. За да биде варовникот секогаш заситен со вода, истекот од безкислородните варовнички дренажи треба да биде поставен малку над горниот дел од варовникот, со што се избегнува пристап на воздух во системот. Пред да биде испуштен во природните водотеци, ефлуентот се задржува во таложник, за да се овозможи прилагодување на pH и преципитација на металите.

#### - Отворени варовнички канали

Кај овој тип на системи се прави канал од варовнички камен во кој се собира контаминираната вода од рудничките дренажи. Растворот од варовнички камен ја зголемува алкалноста на водата и го зголемува pH потенцијалот. Наслагите од варовнички камен со Fe (CO)<sub>3</sub> и Fe (OH)<sub>3</sub> образувани од неутрализацијата го намалуваат образувањето на алкалност, поради што е потребна поголема количина на варовнички камен. Големата брзина на протокот и образувањето на вртлози го зголемуваат ефектот намалувајќи ги наслагите од варовнички камен.

- Системи со вертикален проток

Системите за пасивен третман со вертикален проток ги комбинираат механизмите за третман на анаеробните мочуришта и безкислородните варовнички дренажи.

Основните елементи на овие системи се слични со анаеробните мочуришта, но овде е додаден и дренажен систем за да се обезбеди директен контакт на киселите руднички дренажи со супстратот кој произведува алкалност. Трите главни елементи на системот се дренажниот систем, варовничкиот слој и органскиот слој. Системот е конструиран во рамките на водопрпусен басен, а во дренажниот систем е поставен хидрант за контрола на нивото на водата, за да се обезбеди поплавеност со вода на органскиот и варовничкиот слој. При текот на киселите руднички дренажи низ органскиот слој, се извршуваат следените основни функции: растворениот кислород се отстранува од страна на аеробните бактерии кои што ги користат биоразградливите органски соединенија како извори на енергија, а сулфато-редуцирачките бактерии генерираат алкалност и ги издвојуваат металите во облик на сулфиди. Органскиот слој кој е способен да ги намали концентрациите на DO до  $< 1 \text{ mg/l}$  е од суштинско значење за заштита на варовникот од “армирање”, како и за редукција на сулфатите. Во варовничкиот слој, киселината го раствара  $\text{CaCO}_3$  и безкислородните води движејќи се надолу низ дренажниот систем произведуваат дополнителна алкалност. Ефлуентот се испушта во таложник каде што се врши неутрализација на киселината и преципитација на металите, пред конечното испуштање во реципиентот. За руднички дренажи кои содржат значителни концентрации на  $\text{Fe}^{3+}$  и/или седименти, пред системите со вертикален проток треба да има други таложници или аеробни мочуришта, за да се ограничи акумулацијата на цврстите честички на површината на органскиот слој. За третман на дренажи со висока киселост, може да се постават неколку последователни прегради со вертикален проток, раздвоени со таложници.

## Заклучок

Најдобриот избор помеѓу дадените опции зависи од техничкиот и од економскиот фактор. Техничкиот фактор го вклучува степенот на киселост, количината на проток, специфичните видови и концентрацијата на метали во водата, стапката и степенот на потребниот хемиски третман и посакуваниот финален квалитет на водата. Економскиот фактор ги вклучува цената на реагенсите, работната рака, механизацијата и опремата, потребниот период (години) за кој ќе биде неопходен третманот, отстранување и одложување на отпадниот талог, каматната стапка и факторите на ризик.

За да изврши селекција на систем за активен третман, операторот мора да го одреди протокот на отпадните води, pH, вкупно суспендираните цврсти честички (TSS), киселост/алкалност во  $\text{mg/l}$  како  $\text{CaCO}_3$ , концентрациите на тешките метали, протокот на реципиентот, достапноста на електрична енергија, растојанието од местото на додавање на хемикалии до местото каде што водата влегува во таложникот, како и волуменот и димензиите на таложникот. После евалуацијата на овие променливи за дадено време, операторот може да ги земе во предвид економските параметри на различните хемикалии и алтернативните системи за активен третман.

При дизајнирањето на пасивниот третман потребно е да се окарактеризираат водите кои ќе се третираат, односно треба да се направи мерење на протокот и квалитетот на водата во текот на подолг период, за да се утврди појавата на сезонски разлики. Примената на системи со пасивен третман го елиминира користењето на дополнителни хемикалии, ја намалува потрошувачката на енергија и потребата за одржување, што ги прави овие системи да имаат поголема предност во однос на активните системи.

Почетните трошоци кај пасивниот третман може да бидат повисоки отколку кај активниот, но бидејќи користат процеси кои не се оперативно интензивни, вкупните трошоците за нив се помали (Fripp et al., 2000). Активниот третман е поскап процес како резултат на трошоците за опрема, хемикалииите кои се применуваат и учеството на работната сила (Skousen et al. 1998). Освен тоа овој процес е долгорочен и претставува трајна обврска.

## Користена литература

- Coulton, R., Bullen, C., Dolan, J., Hallett, C., Wright, J., Marsden, C., 2003. Wheal Jane mine water active treatment plant – design, construction and operation. *Land Contamination and Reclamation*, 11 (2), 245 – 252.
- Coulton, R., Bullen, C., Hallet, C., 2003. The design and optimization of active mine water treatment plants. *Land Contamination and Reclamation*, 11, 273–279.
- Fripp, J., Ziemkiewicz, P.F., Charkavork, H., 2000. Acid mine drainage treatment - Technical Notes Collection. Vicksburg: Army Engineer Research and Development Center; Report No.: ERDC TN-EMRRPSR-14.
- Skousen, J., Rose, A., Geidel, G., Foreman, J., Evans, R., Hellier, W., Members of the Avoidance and Remediation Working Group of ADTI, 1998. Handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage. The national Mine Land Reclamation Centre, West Virginia.
- Skousen, J. (2002). <http://www.wvu.edu/~agexten/landrec/passtrt/passtrt.htm>. West Virginia University, September.
- Ziemkiewicz, P., Skousen, J., Brant, D., Sterner, P., Lovett, R.J., 1997. Acid mine drainage treatment with armoured limestone in open channels. *Journal of Environmental Quality*, 26, 1017-1024.
- Motsi, T., 2010. Remediation of acid mine drainage using natural zeolite. Doctor thesis to The University of Birmingham, United Kingdom
- Kimmel, W.G., 1983. The impact of acid mine drainage on the stream ecosystem. In: Pennsylvania Coal: Resources, Technology and Utilization, (S. K. Majumdar and W. W. Miller, eds.), The Pa. Acad. Sci. Publ., pp. 424-437.
- Parsons, J.D., 1957. Literature pertaining to formation of acid mine waters and their effects on the chemistry and fauna of streams. Trans. Ill. State Acad. Sci., v. 50, pp. 49-52.
- Parsons, J.D., 1968. The effects of acid strip-mine effluents on the ecology of a stream. Arch. Hydrobiol., v. 65, pp. 25-50.